УДК 621.891

В.В. РУБАНОВ

КРИТЕРИЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НАПЛАВОЧНЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Для качественной оценки износостойкости наплавочных твердых сплавов в условиях тяжелого напряжения предложен критерий износостойкости, использования которого целесообразно при подборе наплавлямого слоя. Увеличение износостойкости наплавочных материалов достигается одновременным повышением доли твердых включений и предела прочности при изгибе, снижением коэффициента трения и уменьшением размеров дефектов.

Ключевые слова: *усталостная теория износа и механического разрушения, число циклов до разрушения, вязкость разрушения, прочность при изгибе, шлаковые включения, коэффициент трения.*

Введение. Установлено [1], что разрушение наплавленного слоя начинается с зарождения микротрещин, развитие которых приводит к образованию частиц износа. Трещины зарождаются из-за неоднородности структуры наплавленного слоя, наличия шлаковых включений и крупных хрупких структурных составляющих. В процессе изнашивания зарождение и развитие микротрещин фактически протекает одновременно. Износостойкость материала определяет стадия развития микротрещин. Выкрашивание крупных блоков происходит после дорастания трещины и приводит к образованию глубокого рельефа.

Обоснование критерия износостойкости. Поскольку износостойкость наплавочных материалов определяется стадией развития микротрещин и происходит без объемного пластического деформирования, то для вывода критерия износостойкости можно воспользоваться положениями усталостной теории износа и механики разрушения.

Для хрупко разрушающихся материалов величина износа в соответствии с работой [2, с.304] пропорциональна

$$J_h \sim (\frac{f}{\sigma_0 \delta_0})^t \mathrm{E}^{-(1+\beta t)}, \qquad (1)$$

где f - коэффициент трения; σ_0 - предел текучести; δ_0 - относительное удлинение; t - показатель кривой усталости; Е - модуль упругости.

Используя (1), можно определить приблизительно число циклов до разрушения при стационарном режиме по зависимости:

$$N \approx (\frac{\delta_0 \sigma_0}{f})^t E^{(1+\beta t)}. \qquad (2)$$

Поскольку для трещин, распространяющихся при плоской деформации, образцы с трещинами различных размеров разрушаются при одних и тех же значениях $G_{ic} = (1-\mu^2) k_{1c}^2 / E = const$ зависимость (2) можно переписать следующем образом:

$$N \approx (\frac{\sigma_0 \delta_0}{f})^t \left[\frac{(1-\mu^2) k_{1c}^2}{G_{1c}} \right]^{(1+\beta t)}, \qquad (3)$$

где μ - коэффициент Пуассона; k_{1c} - коэффициент вязкости разрушения.

Из формулы (3) видно, что число циклов до разрушения пропорционально пределу текучести, относительному удлинению, коэффициенту вязкости разрушения и обратно пропорционально коэффициенту трения.

Механика разрушения в расчетах износа при трении скольжения и качения, когда наблюдается хрупкое разрушение изнашивающейся поверхности, используется как зарубежными, так и отечественными учеными [3, 4]. Обоснована возможность оценки продолжительности разрушения при изнашивании законом распространения трещины типа Пари с заданным первоначальным дефектом и конечной длиной разрушения. Отмечено, что максимальный коэффициент интенсивности напряжений наблюдается позади контакта трущихся пар и на некоторой глубине поверхности.

Экспериментально установлено [5], что полости зарождаются из твердых частиц (шлаковые включения, карбиды, бориды и т.д.) либо путем разделения частица-матрица, либо путем разрушения частицы. В работах [3, 4] с использованием методов механики разрушения показано, что износостойкость материалов определяется скоростью зарождения и распространения трещин.

Подход механики разрушения к исследованиям поведения дислокаций вблизи трещины, образовавшейся в результате изнашивания, более правомочен, поскольку используемые ранее критерии усталости для условий, когда трещина находится в области действия высоких сжимающих напряжений, являются неподходящими, потому что расчеты по этим критериям показывают, что поверхности не должны никогда разрушиться [3].

Считая дефектами структуры шлаковые включения и крупные первичные карбиды, обозначим исходный размер дефекта через ℓ_i. Поскольку эти дефекты являются жесткими частицами, на ранней стадии нагружений вокруг них возникают расслоения (микрополости), которые после циклического подрастания достигают критической длины $\ell_к$. Распространение трещин усталости происходит при контактном нагружении в неоднородном поле напряжений. Однако задача упрощается, если принять распределение напряжений однородным.

При допущении об однородном распространении напряжений в материале получено выражение для определения числа циклов до разрушения поверхностного слоя [6]:

$$N = \frac{\pi \sigma_{0,2}^2 k_{1c}^2}{512\, A \Delta p^4 f^4} \left(\frac{1}{\ell_i} - \frac{1}{\ell_k}\right), \qquad (4)$$

где $\sigma_{0.2}$ - предел текучести; A - коэффициент, не зависящий от свойств материала ($2{,}5*10^{-3}$); k_{1c} - коэффициент вязкости разрушения; Δp - размах колебания контактного давления; f - коэффициент трения.

Так как $\ell_k \gg \ell_i$, то $\ell_i/\ell_k \to 0$. Учитывая это, после преобразований получаем:

$$N \approx \frac{\pi \sigma_{0,2}^2 k_{1c}^2}{512 A \Delta p^4 f^4 \ell_i}. \qquad (5)$$

Условный предел текучести для исследуемых наплавочных сплавов практически определить невозможно ввиду их высокой хрупкости, поэтому, если предположить, что наплавленный слой представляет собой двухфаз-

ный сплав, в котором φ – объемная доля дефектов, ℓ_i - средний размер дефекта, то выражение (5) можно записать в виде

$$N = \frac{2{,}45(\sigma_m \ell_i + 11Gb\frac{\varphi}{1-\varphi})^2 k_{ic}^2}{\Delta p^4 f^4 \ell_i^3}, \qquad (6)$$

где σ_m – поверхностное натяжение; G – модуль сдвига; b – вектор Бюргерса.

Зависимость (6) позволяет определить количество циклов нагружений до разрушения поверхностного слоя, когда из условий работы пары трения известны величина контактного давления и коэффициент трения, а также имеются данные о коэффициенте вязкости разрушения и структуре исследуемого материала.

Поскольку механизм разрушения при трении скольжения о пластически деформируемый металл и трении качения при высоких давлениях идентичен, то зависимость (6) можно использовать для определения износостойкости наплавочных материалов в условиях тяжелого нагружения. Для качественной оценки износостойкости наплавочных материалов в условиях тяжелого нагружения за критерий износостойкости принимаем [7]:

$$K_u^1 = \frac{G\varphi k_{ic}}{f^2(1-\varphi)\ell_i^{3/2}}. \qquad (7)$$

Поскольку определение коэффициента вязкости разрушения требует длительного времени, а для всех исследованных наплавочных материалов существует корреляция между значениями k_{1c} и $\sigma_{изг}$, то для получения ускоренной качественной оценки износостойкости материала можно использовать вместо k_{1c} предел прочности при изгибе, тем более, что определение $\sigma_{изг}$ необходимо проводить для назначения разрушающих нагрузок перед эксперементами для определения коэффициента вязкости разрушения. Учитывая это, критерий износостойкости можно определить по зависимости:

$$g_u = \frac{G\varphi\sigma_{изг}}{f^2(1-\varphi)\ell_i^{3/2}}. \qquad (8)$$

В соответствии с полученным критерием для разработки конкретных рекомендаций по повышению износостойкости тяжелонагруженных пар трения с ипользованием наплавочных материалов достаточно изготовить образцы для определения $\sigma_{изг}$, после разрушения по микрошлифу определить средний размер и объемную долю дефектов.

Выводы. Предложен критерий износостойкости для качественной оценки износостойкости наплавочных материалов в условиях тяжелого нагружения, использование которого целесообразно при подборе наплавляемого сплава. Увеличение износостойкости наплавочных материалов достигается одновременным повышением доли твердых включений и предела прочности при изгибе, снижением коэффициента трения и уменьшением размеров дефектов.

Библиографический список

1. Колотиенко С.Д. Рубанов В.В. Гордин Ю.А. Механизм изнашивания литых твердых сплавов в тяжелонагруженных парах трения// Вестник ДГТУ. – 2003. – Т.3. – №3 (17).

2. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 525 с.

3. Власов В.М. О расчете износостойкости высокотвердых покрытий// Проблемы трения и изнашивания. – Киев, 1977. – Вып.11. – С.16-23.

4. Сорокин Г.М. О природе износа стали в условиях удара// Теория трения, износа и смазки. – Ташкент, 1975. – Ч.1. – С.24-29.

5. Jahamir S. Suh N.P. Mechanias of suprurfea void nuclation in delamination wear//Wear. – 1977. – V.44, N1. – P.17-38.

6. Колотиенко С.Д. Исследование изнашивания наплавочных твердых сплавов при реверсивном трении о пластически деформируемый металл: Дис.…канд.техн.наук. – Ростов н/Д, 1978. – 210с.

7. Рубанов В.В. Паства К., Денищенко М.М. Критерии износостойкости наплавочных материалов в условиях тяжелого нагружения// Механика.– Познань, 1991. – № 36. – С.119-124.

Материал поступил в редакцию 17.07.06.

V.V. RUBANOV

WEAR RESISTANT CRITERION FOR FUSED SURFACING HARD ALLOYS

Wear resistant criterion suggested for choice of the fused surfacing hard alloys for hard usage. The criterion investigation is advisable for composition of hard alloys selection. The increase of wear resistance achieved by means of simultaneous enlargement of hard inclusions content and bending ultimate strength with constant of friction and defect size lessening.

РУБАНОВ Владилен Васильевич (р.1939), заведующий кафедрой «Технология конструкционных материалов» ДГТУ, профессор (1991), доктор технических наук (1990), заслуженный работник высшей школы Российской Федерации (2001). Окончил РИСХМ (1961).
Научные интересы связаны с исследованием упрочнения и восстановления рабочих поверхностей тяжелонагруженных пар трения индукционной наплавкой.
Автор более 150 научных трудов, 14 авторских свидетельств СССР и патентов Российской Федерации. Изобретатель СССР (1979). Среди его учеников 6 кандидатов и 2 доктора технических наук.